

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

**2 411 436**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

A1

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21)

**N° 78 33410**

(54) Composant optique holographique à distorsion corrigée et son procédé de réalisation.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>). G 03 H 1/18; B 64 D 43/00; G 02 B 5/32, 27/30.

(22) Date de dépôt ..... 27 novembre 1978, à 14 h 51 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le  
9 décembre 1977, n. 858.931 au nom de Lacy G. Cook.*

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — «Listes» n. 27 du 6-7-1979.

(71) Déposant : Société dite : HUGHES AIRCRAFT COMPANY, résidant aux Etats-Unis  
d'Amérique.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Rinuy, Santarelli.

La présente invention concerne des composants optiques holographiques à distorsion corrigée et leur procédé de réalisation.

- L'article "Holographic Optical Elements for Visual Display Applications", de D.G. McCauley et coll., the Michelson Laboratories, China Lake, Californie, Applied Optics, volume 12, n° 2, février 1973, page 232 décrit de façon générale des composants optiques holographiques du type concerné par l'invention. L'article de D.H. Close, the Hughes Research Laboratories, "Holographic Optical Elements", Optical Engineering, volume 14, n° 5, septembre-octobre 1975, page 408 décrit aussi des composants optiques holographiques. Les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 807 829, 3 737 212, 3 915 548 et 3 940 204 décrivent aussi d'autres systèmes concernant de façon générale l'utilisation de composants holographiques.

- La demande de brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 842 641 déposée le 17 octobre 1977 sous le titre "Holographic One Tube Goggle" par Gaylord E. Moss, Lacy G. Cook, et Roger J. Withrington et cédée à la Demanderesse, décrit un dessin de lunette convenant à l'observation la nuit ou en lumière ambiante et permettant aux deux yeux de voir une seule source d'image transformée qui peut être par exemple une image infrarouge transformée en image visible, provenant d'un tube renforceur d'image. Le signal de la source unique d'image est divisé par un répartiteur de faisceau et un miroir. Chaque image est divisée et vue par un oeil, avec sa propre lentille holographique ou un composant optique équivalent qui peut être monté sur une plaque d'observation placée sur la ligne normale de vision de l'utilisateur, par exemple sur une plaque d'observation qui constitue en fait la visière d'un casque porté par l'utilisateur. Celui-ci peut donc voir non seulement l'image transformée mais aussi l'image superposée à une scène naturelle observée en lumière ambiante le cas échéant. De tels dispositifs sont extrêmement utiles pour les pompiers, les pilotes d'hélicoptères et analogues.

Comme indiqué dans la demande précitée cependant, la nature du composant optique holographique nécessaire est telle qu'il existe, dans l'image réfléchie ou transmise, selon le cas,

par l'élément optique holographique, une certaine distorsion. Le terme "distorsion" utilisé dans le présent mémoire s'applique à la distribution incorrecte des points image sur une surface correcte d'image, si bien qu'il se forme une image de configuration 5 erronée ou distordue de l'objet, car les points image n'ont pas une correspondance géométrique biunivoque unique avec les points objet. Ce terme "distorsion" est utilisé afin qu'il soit bien distingué des formes d'aberration telles que l'"astigmatisme" qui est la distribution incorrecte des points 10 image le long d'un axe optique en général perpendiculaire au plan image voulu et qui provoque non pas la formation d'une image de configuration mauvaise, mais la formation d'une image de forme convenable mais floue, manquant de résolution. Bien que le brevet précité des Etats-Unis d'Amérique n° 3 940 204 15 décrive un procédé de correction de l'astigmatisme dans les composants optiques holographiques, ni ce brevet ni les autres références indiquées ne décrivent aucunement un procédé de correction de la distorsion dans les composants holographiques.

En fait, la correction de la distorsion dans des 20 systèmes comprenant des composants holographiques réalisés de façon connue comprend l'utilisation d'une optique classique dans le système optique de restitution pour la correction de la composante rectangulaire de la distorsion. Cette caractéristique augmente évidemment le coût et le poids du système optique 25 total et peut rendre inutilisable certains systèmes. En outre, la distorsion n'est pas totalement éliminée. L'invention permet la correction de la plus grande partie des composantes rectangulaire, asymétrique et circulaire de la distorsion. Une autre technique utilisée pour la compensation de la distorsion lors 30 de l'utilisation d'un composant holographique dans un collimateur de pilotage mettant en oeuvre un tube à rayons cathodiques est la programmation électronique du tube avec un dessin assurant la compensation de la distorsion. Ce problème supplémentaire est aussi éliminé par mise en oeuvre de l'invention.

35 Le principal avantage de l'invention est que les composants optiques supplémentaires nécessaires à la correction de la distorsion ne sont compris que dans le système optique de construction utilisé pour la fabrication du composant optique

holographique et non dans le système optique de restitution de l'appareil de l'utilisateur. La distorsion non corrigée d'un composant holographique peut être importante et a diverses composantes telles que rectangulaire, asymétrique, trapézoïdale et circulaire.

L'invention concerne un composant optique holographique réalisé de manière que les diverses composantes de la distorsion du composant holographique utilisées dans l'appareil de restitution soient éliminées.

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence au dessin annexé sur lequel :

la figure 1 est un schéma optique représentant un exemple de système optique de construction permettant la réalisation d'un composant holographique selon l'invention ;

la figure 2 représente schématiquement la distorsion non corrigée existant dans une telle lentille lorsqu'elle est réalisée de façon classique ; et

la figure 3 est un schéma représentant la correction de la distorsion obtenue dans la lentille réalisée avec le système représenté sur la figure 1.

Dans les systèmes du type décrit dans la demande précitée de brevet des Etats-Unis d'Amérique ou dans le brevet précité des Etats-Unis d'Amérique n° 3 940 204, on constate qu'il existe des éléments résiduels de distorsion dont la correction a été très difficile dans le passé. On a constaté que cette distorsion, dans le système optique de restitution, pouvait être corrigée par incorporation dans l'optique de construction du composant optique holographique d'un "dispositif à prisme" qui, selon les critères nécessaires à un système particulier, peut être un prisme simple ou une variante de prisme, par exemple un prisme ayant une face cylindrique ou asphérique d'un autre type, ou de type "Axicon". Ce dispositif de correction permet la réduction ou l'élimination de toutes les composantes de la distorsion y compris les composantes rectangulaire, asymétrique, trapézoïdale et circulaire. Il faut noter comme indiqué précédemment que le terme "distorsion" se rapporte à la distribution incorrecte des points image sur une surface image conve-

nable, si bien que l'objet a une image déformée. Ainsi, la distorsion résulte en l'absence d'une correspondance un par un convenable entre les propriétés géométriques de l'objet et de l'image, contrairement à l'astigmatisme et à d'autres aberrations qui donnent des images floues ou analogues.

La figure 1 représente un schéma d'un système optique utilisé pour la construction d'une lentille holographique convenant à un ensemble à lunettes. Les fronts d'ondes utilisés pour la construction de la lentille holographique H sont obtenus avec deux sources ponctuelles 10 et 23 cohérentes l'une par rapport à l'autre, formant les sources ponctuelles du faisceau objet et du faisceau de référence respectivement. Ces sources peuvent tirer leur énergie d'un même laser 40, par l'intermédiaire d'un système optique convenable, par mise en oeuvre de techniques de répartition de faisceau, par utilisation d'objectifs de microscope et de filtres spatiaux, etc. Ces techniques sont bien connues et n'entrent pas dans le cadre de l'invention.

Le tableau qui suit indique les caractéristiques des divers éléments optiques utilisés dans le système optique de construction du type représenté schématiquement sur la figure 1, réalisé et décrit à titre illustratif. Dans le tableau, les dimensions sont exprimées en millimètres et la numérotation des surfaces commence avec la source ponctuelle 10 du faisceau de référence et avec la source ponctuelle 23 du faisceau objet.

25

TABLEAU

|    | Numéro de surface | Rayon    | Epaisseur ou distance | Matière ou type du verre | Inclinaison |
|----|-------------------|----------|-----------------------|--------------------------|-------------|
|    | 10                | -        | 254                   | Air                      |             |
|    | 11                | - 34,36  | 2,54                  | 785-261                  |             |
| 30 | 12                | -158,60  | 5,84                  | Air                      |             |
|    | 13                | - 21,69  | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 14                | - 40,23  | 28,17                 | Air                      |             |
|    | 15                | 00       | 8,89                  | 517-642                  |             |
|    | 16                | -181,05* | 122,05                | Air                      |             |
| 35 | 17                | 00       | -163,20               | Réfléchissant            | 45°         |
|    | 18                | 355,60   | 163,20                | Réfléchissant            |             |

TABLEAU (suite)

|    | Numéro de surface | Rayon   | Epaisseur ou distance | Matière ou type du verre | Inclinaison |
|----|-------------------|---------|-----------------------|--------------------------|-------------|
| 5  | 19                | 00      | 12,19                 | 517-642                  | 45°         |
|    | 20                | 00      | 64,26                 | Air                      | 45°         |
|    | 21                | 87,83   | 1,78                  | 517-642                  | -25°        |
|    | 22                | 87,83   | 0                     | Hologramme               | -25°        |
|    | 23                | -       | 254                   | Air                      |             |
| 10 | 24                | - 34,36 | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 25                | -158,60 | 5,84                  | Air                      |             |
|    | 26                | - 21,69 | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 27                | - 40,23 | 10,16                 | Air                      |             |
|    | 28                | 56,39*  | 12,57                 | 517-642                  |             |
| 15 | 29                | 00      | 55,63                 | Air                      | 25,2°       |
|    | 30                | 87,83   | 1,78                  | 517-642                  | 25°         |
|    | 31                | 87,83   | 0                     | Hologramme               | 25°         |

\* désigne une surface cylindrique.

La source ponctuelle 10 peut être sous forme d'un faisceau laser provenant d'un laser 40 et elle forme une image par l'intermédiaire de lentilles L1 et L2, puis d'une lentille cylindrique C, le faisceau étant réfléchi par la plaque P de répartition de faisceau vers le miroir sphérique M. Ensuite, les rayons sont renvoyés à travers la plaque P sur le composant optique holographique H. L'autre faisceau ou faisceau de référence provenant de la source ponctuelle 23 peut aussi être tiré du laser 40. La source ponctuelle 23 forme une image par l'intermédiaire des lentilles L3 et L4 et cette image est transformée par le prisme R placé sur le faisceau de référence entre la lentille L4 et le composant holographique H. L'exposition de ce composant optique holographique (qui est placé entre deux substrats) est assurée par les interférences, à ces surfaces, du faisceau objet et du faisceau de référence.

Sur la figure, les références données pour les numéros de surfaces correspondent aussi aux surfaces indiquées pour

chacun des éléments de la figure 1. Ainsi, le numéro de surface 10 correspond à la première source ponctuelle qui est à une distance de 254 mm dans l'air de la première surface 11 de la lentille L1. Cette surface 11 a un rayon de courbure de - 34,36 mm, la lentille L1 a une épaisseur de 2,54 mm, et elle est formée de verre du type 785-261. Le reste de l'information du tableau s'applique de façon analogue aux éléments représentés sur la figure 1. Il faut noter que les angles d'inclinaison associés aux surfaces 17, 19, 20, 21 et 22 pour le faisceau objet et aux surfaces 29, 30 et 31 pour le faisceau de référence sont spécifiés par rapport à l'axe optique. Evidemment, il faut aussi noter que les surfaces 10 à 22 se trouvent sur le trajet du faisceau objet et les surfaces 23 à 31 sur le trajet du faisceau de référence. En fait, la surface 22 et la surface 31 sont en réalité une même surface mais sont parcourues en sens opposés, de même aussi que les surfaces 17 et 19.

L'utilisation des techniques décrites précédemment permet la réalisation de lentilles holographiques qui ont une distorsion très réduite comme indiqué par comparaison des figures 2 et 3. La figure 2 représente le dessin de distorsion de lentilles réalisées de manière connue alors que la figure 3 représente le dessin de l'image dépourvue de distorsion obtenue avec une lentille réalisée avec le système optique représenté sur la figure 1. Les deux lentilles ont une distance focale efficace de 50,8 mm. Lors de l'évaluation des lentilles ainsi réalisées, une grille parfaite était placée au plan focal et le dessin résultant était photographié avec l'élément optique holographique dans le système optique. L'espacement des lignes de la grille était d'environ 2,54 mm, c'est-à-dire que dix carrés environ correspondaient à un champ de vision de 30°. La distorsion "circulaire" présente dans une lentille réalisée de manière connue provoque la courbure vers le haut, au cours de la mesure indiquée sur la figure 2. On note sur les diagrammes mesurés que pratiquement toute la distorsion rectangulaire et circulaire est corrigée, car il ne reste qu'une légère trace de distorsion trapézoïdale à gauche.

Il faut noter évidemment que d'autres arrangements optiques de construction équivalente ou analogue peuvent être

utilisés. Par exemple, dans le cas le plus simple, une source ponctuelle formant le faisceau de référence peut donner une image par l'intermédiaire d'une lentille cylindrique, directement sur un miroir sphérique, avec renvoi vers une première surface de l'élément optique holographique. L'autre source ponctuelle transmet un faisceau qui passe dans un prisme ayant une face cylindrique, puis vers l'élément optique holographique au niveau duquel les faisceaux objet et de référence interfèrent, le diagramme d'interférences ainsi créé formant l'élément optique holographique selon les enseignements des documents cités. Le perfectionnement pour tous ces arrangements optiques de construction, est l'utilisation de l'élément à prisme dans l'un des faisceaux d'exposition afin que les fronts d'ondes aient des aberrations d'une nature telle que la distorsion créée par ailleurs lors de la restitution de l'élément, soit compensée et réduite ou éliminée. Les propriétés optiques du prisme sont adaptées de façon originale à l'élimination de la distorsion ou des images de configuration déformée dans le plan image. Ce phénomène est obtenu par formation d'une variation continue de la distance focale de l'élément optique holographique autour d'un ou plusieurs axes, cette variation ayant une amplitude et un signe tels que la distorsion qui existe par ailleurs soit compensée. De manière analogue, on note que l'inclinaison de l'image, c'est-à-dire l'inclinaison de la surface d'image, peut aussi être corrigée par utilisation d'un prisme monté dans le système optique de construction.



REVENDICATIONS

1.           Système optique comprenant un élément optique holo-  
graphique, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de  
correction de la distorsion, la distorsion comprenant les  
5 composantes rectangulaire, asymétrique, trapézoïdale et circu-  
laire, le dispositif comprenant une variation continue de la  
distance focale de l'élément optique holographique autour d'un  
ou plusieurs axes, obtenue par disposition d'un dispositif à  
prisme sur l'un des faisceaux lumineux du système optique qui  
10 construit l'élément holographique.
2.           Procédé de construction d'un élément optique hologa-  
phique du type qui comprend l'exposition d'un substrat hologa-  
phique à un premier et un second faisceau de lumière présentant  
des interférences afin que le substrat soit exposé, ledit pro-  
15 cédé étant caractérisé en ce qu'il comprend la disposition  
d'un prisme sur le trajet de l'un des faisceaux de lumière afin  
que les fronts d'ondes subissent des aberrations provoquant une  
variation continue de la distance focale de l'élément optique  
holographique autour d'un ou plusieurs axes, si bien que la dis-  
20 torsion apparaissant dans la restitution de l'élément optique  
holographique est compensée.
3.           Appareil de construction de lentilles holographiques  
destiné à construire des éléments optiques holographiques ayant  
des fronts d'ondes comprenant des aberrations qui compensent  
25 la distorsion qui pourrait apparaître par ailleurs, l'appareil  
de construction étant caractérisé en ce qu'il comprend un sys-  
tème optique de construction de lentille holographique qui  
comporte une matière d'enregistrement de lentille holographique  
placée sur un substrat, une source d'un premier front d'ondes  
30 laser parvenant sur la matière d'enregistrement et divergeant  
à partir d'une source ponctuelle, une source d'un second front  
d'ondes laser parvenant aussi sur la matière d'enregistrement,  
les ondes étant cohérentes à celles du premier front d'ondes,  
et un dispositif à prisme placé entre la source du second front  
35 d'ondes et la matière d'enregistrement afin qu'il crée des  
aberrations dans le second front d'ondes.
4.           Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce  
qu'il comprend en outre une lentille cylindrique placée entre

la source du premier front d'ondes laser et la matière d'enregistrement de lentille holographique.

5. Appareil de construction de lentilles holographiques destiné à former un élément optique holographique ayant des
- 5 fronts d'ondes présentant des aberrations qui compensent la distorsion qui pourrait apparaître par ailleurs, ledit appareil étant caractérisé en ce qu'il comprend un système optique de construction de lentille holographique qui comporte une première
- 10 objet, une première et une seconde lentille relais destinées à former une image de cette source sur une lentille cylindrique, une lame partiellement réfléchissante destinée à recevoir l'image de la lentille cylindrique, un miroir sphérique recevant l'image de la source, provenant de la lame semi-réfléchissante,
- 15 un substrat portant une matière d'enregistrement de lentille holographique, destiné à recevoir la lumière réfléchie par le miroir et transmise par la lame placée entre la matière d'enregistrement et le miroir, une seconde source d'un second front d'ondes laser formant un faisceau de référence, et une troisième
- 20 et une quatrième lentille relais disposées afin qu'elles forment l'image de cette source sur un prisme placé entre la seconde source et la matière d'enregistrement holographique, cette matière étant destinée à recevoir la lumière des deux sources afin que le diagramme d'interférences des faisceaux assure
- 25 l'enregistrement de l'élément optique holographique.

6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que les éléments optiques ont les caractéristiques suivantes :

|    | Numéro de surface | Rayon    | Epaisseur ou distance | Matière ou type du verre | Inclinaison |
|----|-------------------|----------|-----------------------|--------------------------|-------------|
| 30 | 10                | -        | 254                   | Air                      |             |
|    | 11                | - 34,36  | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 12                | -158,60  | 5,84                  | Air                      |             |
|    | 13                | - 21,69  | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 14                | - 40,23  | 28,17                 | Air                      |             |
| 35 | 15                | 00       | 8,89                  | 517-642                  |             |
|    | 16                | -181,05* | 122,05                | Air                      |             |

TABLEAU (suite)

|    | Numéro de surface | Rayon   | Epaisseur ou distance | Matière ou type du verre | Inclinaison |
|----|-------------------|---------|-----------------------|--------------------------|-------------|
|    | 17                | 00      | -163,20               | Réfléchissant            | 45°         |
| 5  | 18                | 355,60  | 163,20                | Réfléchissant            |             |
|    | 19                | 00      | 12,19                 | 517-642                  | 45°         |
|    | 20                | 00      | 64,26                 | Air                      | 45°         |
|    | 21                | 87,83   | 1,78                  | 517-642                  | -25°        |
|    | 22                | 87,83   | 0                     | Hologramme               | -25°        |
| 10 | 23                | -       | 254                   | Air                      |             |
|    | 24                | - 34,36 | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 25                | -158,60 | 5,84                  | Air                      |             |
|    | 26                | - 21,69 | 2,54                  | 785-261                  |             |
|    | 27                | - 40,23 | 10,16                 | Air                      |             |
| 15 | 28                | 56,39*  | 12,57                 | 517-642                  |             |
|    | 29                | 00      | 55,63                 | Air                      | 25,2°       |
|    | 30                | 87,83   | 1,78                  | 517-642                  | 25°         |
|    | 31                | 87,83   | 0                     | Hologramme               | 25°         |

le rayon ou les épaisseurs ou distances étant indiqués  
 20 en millimètres et l'astérisque désignant une surface cylindrique.

Fig. 1.

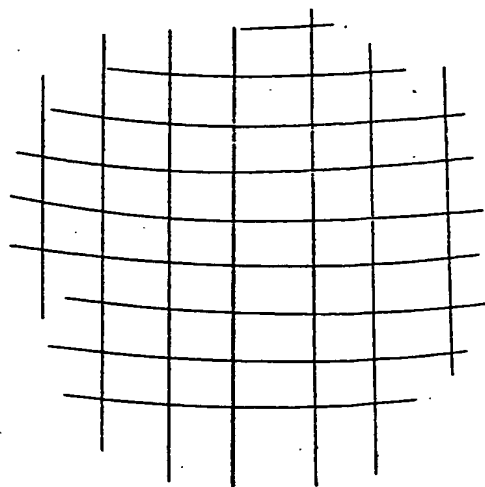
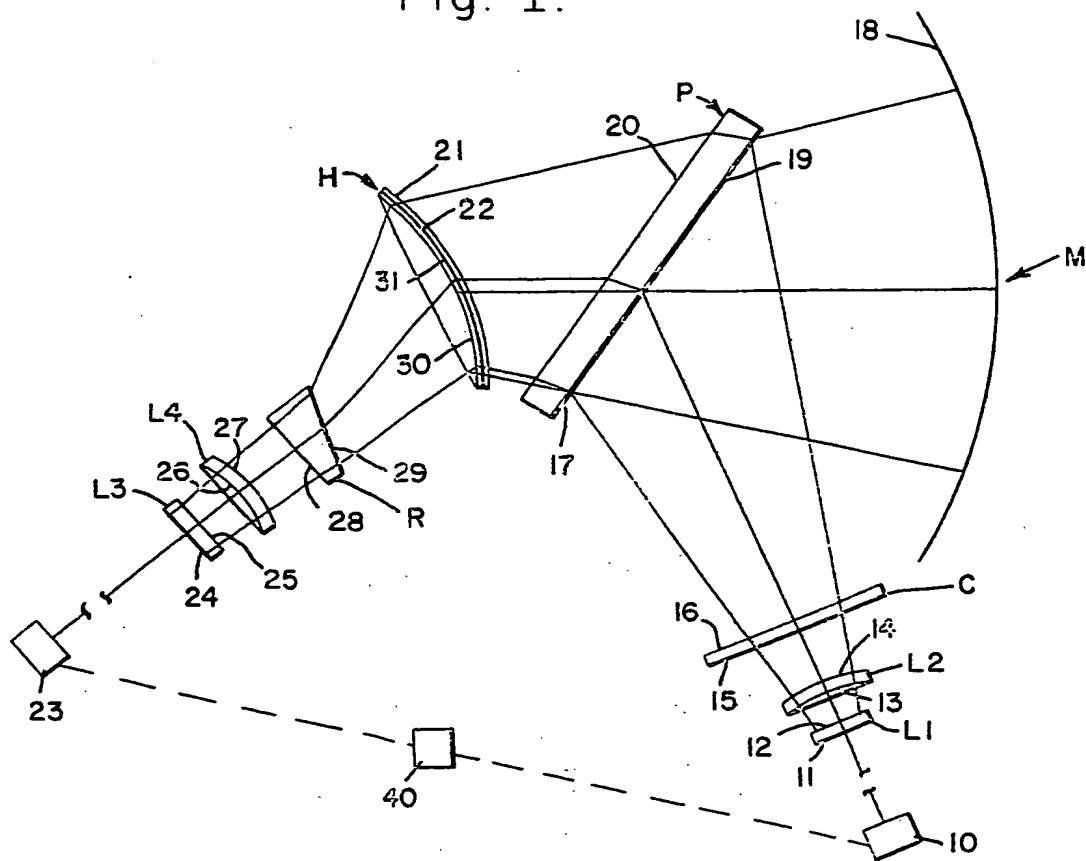


Fig. 2.

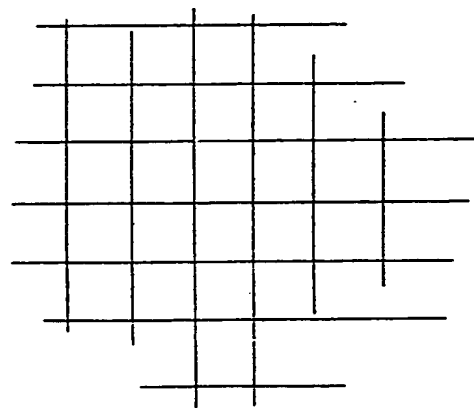


Fig. 3.